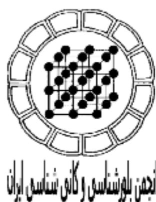
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و چهارم، شمارهٔ اول، بهار ۹۵، از صفحهٔ ۱۱۹ تا ۱۳۲



کانی‌زایی و دگرسانی کانسارآهن رشتخوار و سنگ‌های میزبان وابسته به آن

حبیب بیابانگرد*، محمد بومری، خسرو تیموری، فاطمه محمدپور

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

(دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۲۸، نسخه نهایی: ۹۴/۳/۲۴)

چکیده: کانسار آهن رشتخوار در جنوب خاوری استان خراسان رضوی و ۴۸ کیلومتری خاوری رشتخوار قرار دارد. از نظر زمین‌شناسی این کانسار در شمال خاوری بلوک لوت واقع شد و به نوار ولکانو پلوتونیک خواف-بردسکن وابسته است. سنگ‌های آذرین حدواسط به صورت استوک، دایک، گدازه و نهشته‌های آذرآواری سنگ میزبان کانسار هستند. این سنگ‌ها شامل دیوریت پورفیری، مونزوسینیت پورفیری، آندزیت، بازالت و لیتیک توف هستند که دارای بافت‌های دانه‌ای، پورفیری، میکرولیتیک پورفیری و هیالومیکرولیتیک هستند و از کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپات‌های پتاسیم، آمفیبول و پیروکسن تشکیل شده‌اند. واحدهای رسوبی بیشتر از کنگلومرا، شیل و ماسه سنگ تشکیل شده‌اند. کانی‌زایی آهن در این کانسار غالباً به صورت رگه‌هایی با ضخامت چند سانتیمتر تا ۲ متر و تا طول ۲۰ متر، با راستای غالب خاوری-باختری در داخل سنگ‌های نفوذی دیده می‌شوند. کانی‌زایی آهن بیشتر به صورت هماتیت (اسپیکولاریت) و مگنتیت بوده و کانی‌زایی مس نخست به صورت کالکوپیریت تشکیل شده و طی فرآیندهای سطحی به کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و هیدروکسیدهای آهن (گوئتیت و لیمونیت) تبدیل شده‌اند. اصلی‌ترین کانی‌های باطله عبارتند از کلسیت و کوارتز. دگرسانی-های پروپیلیتیک، سریستیک-پروپیلیتیک، سیلیسی و آرژیلیک پیشرفته مهم‌ترین دگرسانی‌هایی هستند که طی آن برخی از کانی‌ها همچون پلاژیوکلازها، فلدسپات‌های پتاسیم و آمفیبول‌ها به سریسیت، کلریت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند.

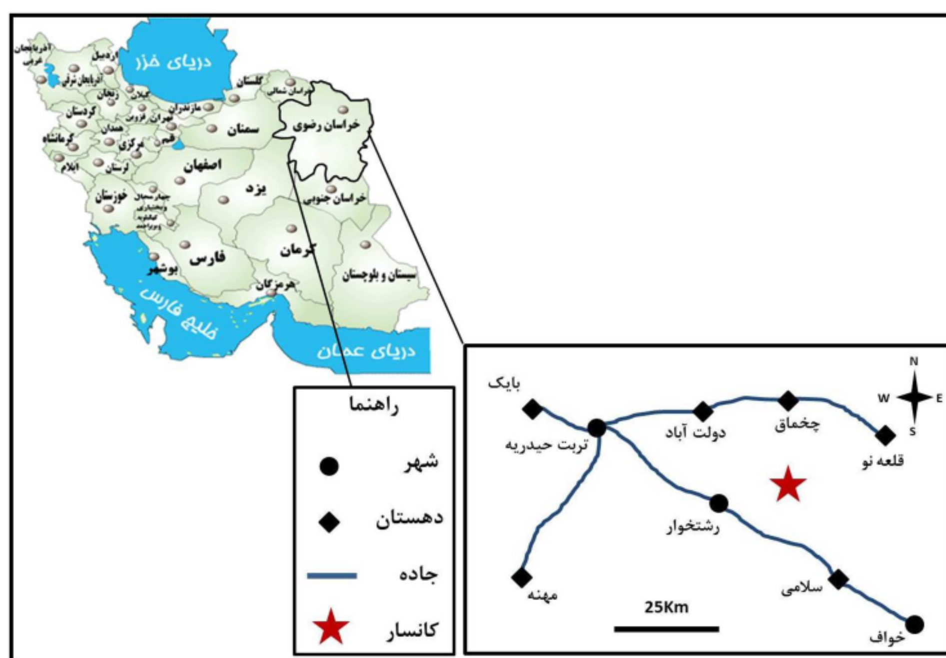
واژه‌های کلیدی: *ایران؛ بلوک لوت؛ رشتخوار؛ کانی‌زایی آهن؛ اسپیکولاریت.*

مقدمه

کمربند ولکانوپلوتونیکی خواف- بردسکن یکی از ایالت‌های مهم متالوژنی ایران است که حاوی معادن و کانسارهای متعددی است که از جمله کانسارهای اکسید آهن موجود در این ناحیه می‌توان به طلا– اسپیکولاریت کوه زر، تنورجه و معدن سنگ آهن سنگان خواف اشاره کرد [۱]. این کمربند حاوی منابع آهن زیادی بوده و علاوه بر این، ذخایر قابل توجهی از مس و طلا در آن شناسایی یا مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. کانسار آهن و مس رشتخوار هم‌اکنون برای استخراج آهن معدن‌کاری می‌شود. به‌طور کلی کانی‌زایی در مرزهای گسلی رخ داده است که با توجه به کانی‌زایی آهن و مس در منطقه، نوع آن را Iron oxide copper-gold (IOCG) دانسته و نقش گرماب‌ها را در تشکیل دگرسانی‌های منطقه مهم شناخته‌اند [۲]. ذخایر IOCG یک نوع رده‌بندی جدید بوده و به عنوان یک نوع جدید از کانسارهای گرمابی که در محیط‌های قاره‌ای تشکیل می‌شوند، معرفی شده‌اند [۳]. این ذخایر دسته‌ای از کانسارها هستند که دارای طیف گسترده‌ای از عناصر از جمله اورانیم، مس، نادر خاکی، نقره، طلا، بیسموت، کبالت و فسفر هستند. کانسار آهن رشتخوار در ۴۸ کیلومتری خاوری رشتخوار و ۱۲ کیلومتری شمال روستای شهرک قرار دارد (شکل ۱). در این مقاله برای نخستین بار می‌پردازیم به بررسی کانی‌زایی و دگرسانی‌های قابل توجه کانسار آهن رشتخوار و سنگ‌های میزبان آن.

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۴۰۸۵۲۶، پست الکترونیکی: h.biabangard@science.usb.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.10.2]



شکل ۱ نقشه‌ی راه‌های دسترسی به منطقه‌ی مورد بررسی.

زمین‌شناسی عمومی منطقه

بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رشتخوار [۴] و ۱:۲۵۰۰۰۰ گناباد [۵]، بیشتر واحدهای سنگی منطقه از سنگ‌های آذرین نفوذی و خروجی و سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است (شکل ۲). قدیمی‌ترین واحدهای سنگی عبارتند از سنگ آهک‌های دگرگون، واحدهای شبه آتشفشانی و شیست‌هایی با سن احتمالی پرکامبرین یا پالئوزوئیک پایینی [۴] که به طور محدود در گوشه‌ی جنوب خاوری منطقه‌ی مورد بررسی (کوه تیغ سیاه و خاور کوه کمر قشقه) برونزد دارند. واحدهای سنگی ائوسن بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی شامل آندزیت پورفیری، آندزیت تا پیروکسن آندزیت، توف بلورین و لیتیک توف هستند که دارای روند شمال باختری– جنوب خاوری هستند [۴]. سنگ‌های آذرین نفوذی بیشتر ترکیب مونزونیتی دارند و به رنگ خاکستری تا خاکستری روشن دیده می‌شوند. نفوذی‌های مونزونیتی حدود ۲۵ کیلومتر مربع وسعت دارند و نهشته‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده-اند و وابسته به اُلیگوسن هستند [۴]. واحدهای رسوبی بیشتر کنگلومرای شیلی و ماسه سنگی هستند. واحد کنگلومرایی به رنگ قهوه‌ای تا قرمز و دانه‌هایی به اندازه ۲ میلیمتر تا ۲۰ سانتیمتر، با گردشدگی و سخت‌شدگی خوب و با ناپیوستگی زاویه‌دار روی واحدهای رسوبی ائوسن و قدیمی‌تر از آن قرار دارد و به تدریج با ماسه سنگ‌ها و شیل‌های اُلیگوسن پوشیده می‌شود [۴]. در جنوب منطقه‌ی مورد بررسی ردیفی قابل ملاحظه از ماسه سنگ‌های متوسط تا ستبرلایه و به رنگ خاکستری مایل به سبز با میان لایه‌هایی از مارن‌های سفید، خاکستری و قهوه‌ای در راستای شمال باختری– جنوب خاوری و همسو با گسل درونه برونزد دارند، نهشته‌های این واحد هم-شیب و به تدریج روی رسوب‌های کنگلومرایی اُلیگوسن جای گرفته و به صورت ناپیوسته‌ای با رسوب های جوان‌تر پوشیده شده است. در بخش‌هایی از منطقه نهشته‌های این واحد بر اثر عملکرد گسل درونه به صورت برگشته در آمده‌اند.

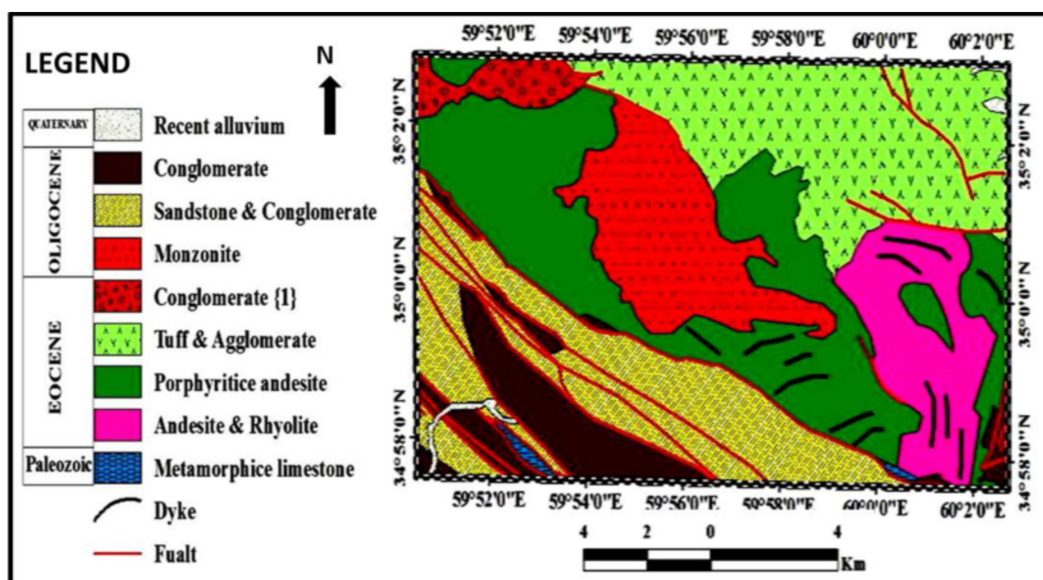
زمین‌شناسی کانسار

بر پایه‌ی بررسی‌های صحرایی و نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه شده از کانسار، کانسنگ آهن رشتخوار شامل دو توده‌ی جنوبی (A) و توده‌ی شمال خاوری (B) است (شکل ۳) که سنگ میزبان آن، واحدهای نفوذی هستند. بخش مهم نفوذی‌ها وابسته به مجموعه‌ی سنگ‌های نفوذی نیمه عمیق با ترکیب حدواسط است که تغییرات ترکیبی آن‌ها حد فاصل دیوریت تا سینیت و به صورت غالب، مونزونیتی هستند. بر اساس نقشه‌ی زمین-شناسی تهیه شده از کانسار (شکل ۳)، واحدهای زمین شناسی از قدیم به جدید عبارتند از: مجموعه‌های آذرین شامل واحدهای خروجی و نفوذی به شرح زیرند:

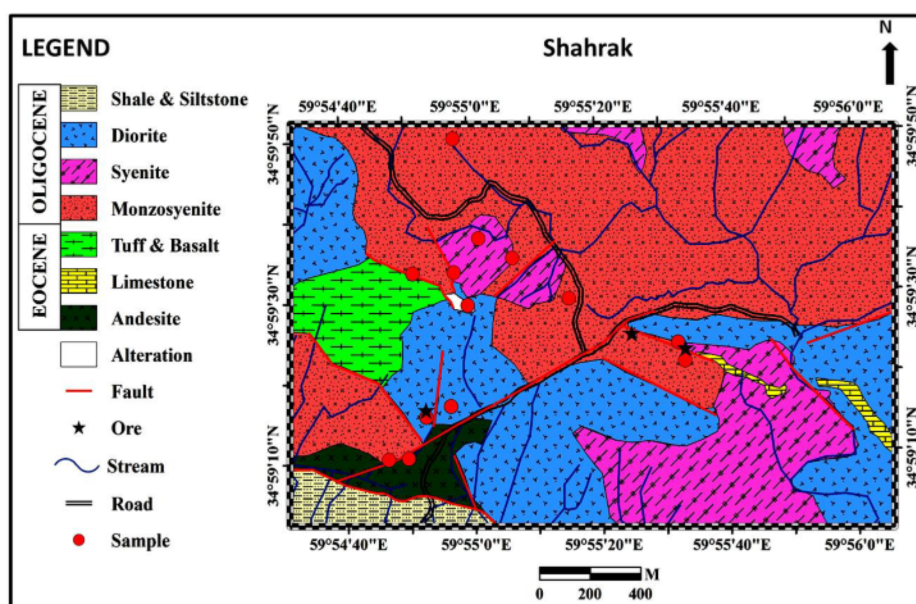
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.10.2]

واحد آندزیتی: در جنوب منطقه‌ی مورد بررسی، با واحدهای رسوبی و دیوریتی در جنوب توده‌ی معدنی A با مرز گسلی برونزد دارند (شکل ۴ الف). سنگ‌های آندزیتی این واحد که به رنگ خاکستری روشن دارد تا تیره و غالباً بافت پورفیری دیده می‌شوند، درشت بلورهای معمول این سنگ‌ها پلاژیوکلاز است. این سنگ‌ها در اغلب نقاط با گرماب‌هایی به شدت دگرسان شده‌اند و رنگ آن‌ها نیز تغییر کرده است. در نقشه‌ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رشتخوار [۴] سن این واحد سنگی را ائوسن مشخص کرده‌اند.

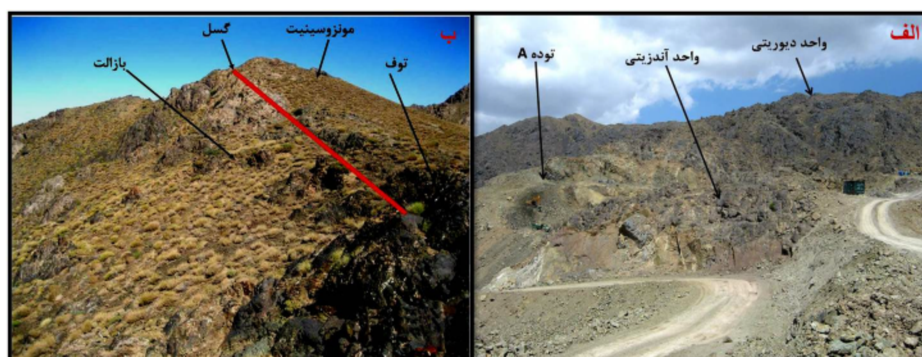
واحد توف: این سنگ‌ها در شمال باختری توده‌ی A معدنی در برونزد دارند (شکل ۴ ب) و در بخش شمالی خُرد شده‌اند. در نمونه دستی به رنگ سبز روشن با بافت برشی و در سطح هوازده دارای رنگ تیره هستند. قطعات لیتیک و رگچه‌های سیلیس را در نمونه دستی این سنگ‌ها می‌توان تشخیص داد. سنی که برای این واحدهای تعیین شده، ائوسن است [۴].



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی ناحیه‌ای از شهرک [۴] (اصلاح شده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰رشتخوار، خواف، دولت آباد و کاریزنو، سازمان زمین‌شناسی کشور، با تغییرات ۱۹۸۳).



شکل ۳ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده‌ی منطقه‌ی معدن آهن رشتخوار و اطراف آن.



شکل ۴ الف) برونزد واحد آندزیتی در همبری با واحدهای دیوریتی در جنوب توده‌ی معدنی A و ب) نمایی از برونزد واحدهـای تـوفی و بـازالتی شمال باختری توده معدنی A.

واحد مونزوسـینیت: ایـن واحـد بیـشتر در شـمال و بـه میـزان کمتری در جنوب باختری منطقه به صورت استوک برونزد دارد. در نمونه‌ی صحرایی این سـنگ‌هـا مـی‌تـوان درشـت بلورهـای فلدسپار قلیایی و پلاژیوکلاز را دید (شکل ۵ الف).

واحد سینیت: در سطح تازه به رنگ روشـن تـا صـورتی بـوده و دارای بافـت دانـه ای و دانـه‌ای متوسـط هـستند. کـانی قابـل تشخیص و اصلی این سنگ‌ها فلدسپار قلیایی بی‌شکل به رنـگ صورتی دیده مـی‌شـوند (شـکل ۵ ب). برونـزد ایـن واحـدها در سطح منطقه کم و بیشتر در مناطق شمالی اسـت. سـنگ‌هـای سینیت پورفیری به صورت پراکنده و استوک در منطقـه دیـده می‌شوند که دارای رنگ خاکستری و بافت پورفیری‌انـد. درشـت بلورهای این سنگ‌ها پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم است.

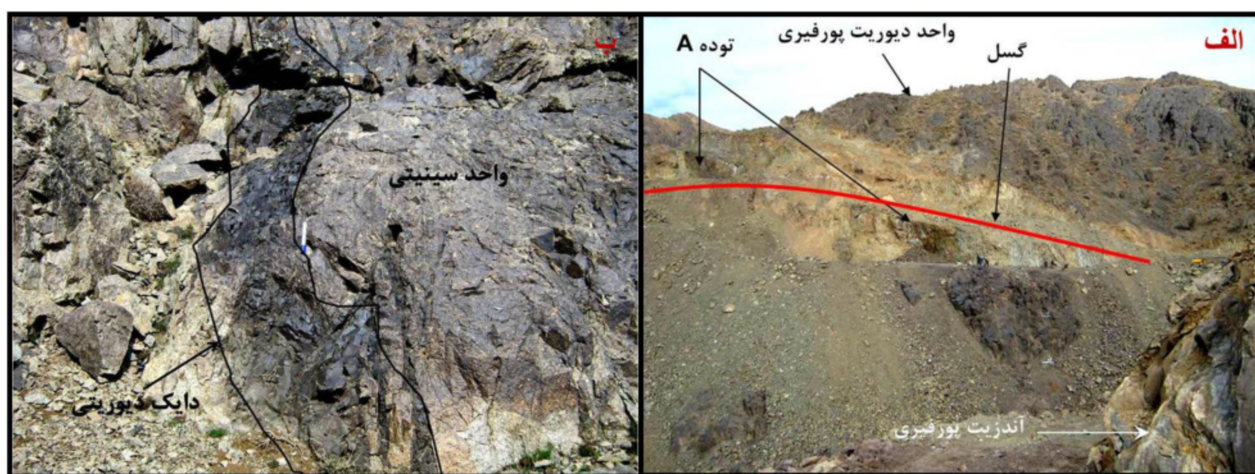
دیوریت پورفیری: برونزدهـای دیـوریتی در منطقـه بـه صـورت دایک و استوک هستند. دیوریت‌های پورفیری بیشتر در بخـش جنوبی منطقه برونزد دارند (شکل ۳). این سـنگ‌هـا در جنـوب باختری منطقه میزبان کـانی‌زایـی آهـن (تـوده A) قـرار دارنـد (شکل۶ الف). همچنین در شـمال خـاوری منطقـه در نزدیکـی کانی‌زایی آهن (توده‌ی B) نیز دیده مـی‌شـوند. ایـن سـنگ‌هـا دارای درشت بلورهای پلاژیوکلاز بوده و در نمونـه‌ی دسـتی بـه رنگ سبزه تیره و بافت پورفیری دیده می‌شوند.

دایک‌های دیوریتی: این واحد بیشتر در بخـش شـمالی منطقـه برونزد دارند که در نقشه‌ی تهیه شده به علت برونزد نه چنـدان زیاد و ضخامت کم آن‌ها ترسیم نشده‌اند. این سنگ‌ها بـه رنـگ سبز تیره متمایل بـه سـیاه و دارای بافـت ریزدانـه هـستند. در بسیاری سنگ‌ها در موارد بسیاری به صورت عدسی درآمده‌اند و در جهات مختلف در سنگ‌های منطقه نفوذ کرده‌انـد. ضـخامت این دایک‌هـا از ۱۵ سـانتیمتر تـا یـک متـر متغیـر اسـت. ایـن دایـک‌هـا در منطقـه دارای دو رشـته شـمال خـاوری- جنـوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری هستند و تقریباً مشابه با راستای شکستگی‌های موجود در منطقه‌اند (شکل ۶ ب).

واحد بازالتی: ایـن واحـد در بخـش شـمالی تـوده‌ی معـدنی A برونزد دارد (شکل ۴ ب)، در نمونه‌ی دستی به رنگ خاکـستری تیره و بافت پورفیری دیده می‌شـوند. پلاژیوکلازهـای شـکل‌دار کشیده و پیروکسن‌ها از جمله کانی‌های سازنده‌ی این سنگ‌هـا هستند.



شکل ۵ الف) نمایی از واحدهای مونزوسینیتی که میزبان توده‌ی B منطقه‌ی مورد بررسی است و ب) نمایی از برونزد سطحی واحدهای سینیتی و سینیت پورفیری منطقه.



شکل۶ الف) نمایی از توده‌ی معدنی A و واحد دیوریت پورفیری، ب) دایک‌های دیوریتی در واحدهای سینیتی با راستای N15W.

مجموعه‌های رسوبی: سنگ‌های رسوبی با مرز کاملاً گسلی و مشخص در کنار واحدهای آذرین قرار گرفته‌اند (شکل۷ الف). واحدهای رسوبی شامل سنگ‌های مارن، شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا هستند که به شدت تحت تأثیر فعالیت های زمین ساختی واقع شده‌اند و چین‌خوردگی‌های تاقدیسی و ناودیسی و دگرشیبی در آن‌ها دیده می‌شوند. در بخش جنوبی و جنوب باختری منطقه رسوبهای شیلی و ماسه‌سنگی به ضخامت بسیار زیاد (ده‌ها متر)، مشابه رسوب‌های فلیشی وجود دارند. این واحدها در نمونه‌ی دستی دارای رنگ خاکستری تیره و بافت - ریز دانه‌اند که در آن‌ها آثار رسوبی از جمله رپیل مارک را می‌توان دید. سنی که برای این واحدها در نظر گرفته‌اند، اُلیگوسن است [۴]. یک رشته میان لایه آهکی در واحدهای نفوذی دیده می‌شود، این واحدها در خاور توده معدنی B برونزد دارد که در اثر همبری با واحدهای نفوذی، مرمری شده‌اند و حالت بلورین به خود گرفته‌اند (شکل ۷ ب). در این واحدهای رسوبی آثار فسیلی دیده نمی‌شوند.

روش بررسی

پس از بازدیدهای صحرایی از منطقه، نمونه‌برداری از سنگ‌های پا دیواره‌ای، از سنگ‌های میزبان، کانسنگ آهن و سنگ‌های فرا دیواره و هر نوع سنگ دگرسان شده و رگه‌های کانی‌سازی انجام شد. ضمن نمونه برداری موقعیت نمونه‌ها با GPS خوانده و ثبت و مشخصات واحدهای نمونه‌برداری مثل ضخامت و گسترش، شیب و راستای آن‌ها یادداشت شدند. برای بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانه‌زایی، ۳۰ مقطع نازک از ۱۶ نمونه برداشت شدند و از رگه‌های کانی‌زایی شده مقاطع صیقلی تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه های سنگی به روش XRF در دانشگاه تربیت معلم تهران مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین برای بررسی دگرسانی‌های منطقه، علاوه بر بررسی مقاطع، ۵ نمونه نیز در شرکت کانساران بینالود بررسی شد.

سنگ‌شناسی

مجموعه سنگ‌های در برگیرنده‌ی کانسار آهن رشتخوار را می‌توان به دو گروه؛ سنگ‌های آذرین و سنگ‌های رسوبی رده‌بندی کرد که با استفاده از روش نام‌گذاری بر اساس کانی‌شناسی (مودی) [۷،۶]، سنگ‌های آذرین درونی در گستره‌ی دیوریت و سینیت (شکل ۸ الف) و سنگ‌های آذرین بیرونی در گستره‌ی آندزیت و بازالت قرار گرفتند (شکل ۸ ب). در دیوریت‌های پورفیری کانی اصلی پلاژیوکلاز بوده و پتاسیم فلدسپات به مقدار بسیار کمتر از پلاژیوکلاز در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شوند. کانی‌های فرعی مشاهده شده نیز عبارتند از کلریت، سریسیت، کلسیت، کانی‌های رسی، کوارتز و کانی‌های کدر. مونزوسینیت‌ها در نمونه‌ی صحرایی دارای بافت درشت دانه و به رنگ صورتی تا سفید دیده می‌شوند. فراوان ترین کانی‌ها نخست٠ فلدسپات پتاسیم و سپس پلاژیوکلازها بوده و کانی‌های دگرسانی همچون کلریت‌ها و سریسیت نیز در مقاطع میکروسکوپی قابل شناسایی هستند (شکل ۹ الف). در سینیت‌ها کانی‌های پلاژیوکلاز به‌صورت قابل ملاحظه‌ای کمتر از فلدسپات‌های پتاسیم بوده و تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند (شکل ۹ ب). از کانی‌های قابل تشخیص در بازالت‌ها عبارتند از بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن که دستخوش دگرسانی شده‌اند. کانی‌های دیگر عبارتند از الیوین، کلریت،

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.10.2]

کلسیت، سریسیت و کانی‌های کدر (شکل ۹ ج). آندزیت‌ها بافت ریزسنگی پورفیری دارند. کانی اصلی در این سنگ‌ها عبارتند از پلاژیوکلاز و کانی‌های فرعی فلدسپات پتاسیم، کلریت، سریسیت، کلسیت، کوارتز، کانی‌های کدر و اکسیدهای آهن (شکل ۹ د). سنگ‌های رسوبی منطقه شامل سیلتستون، پاراکنگلومرای پترومیک‌تیک و سنگ‌های آهکی هستند. جنس قطعات تشکیل دهنده پاراکنگلومرای پترومیک‌تیک عبارتند از کوارتز، چرت، گل سنگ و سیلتستون که در بعضی از بخش‌ها به وسیله‌ی سیمان دولومیتی احاطه شده‌اند. فراوانی قطعات ناپایدار تشکیل دهنده‌ی سنگ بیشتر از ۱۰ درصد است که از جورشدگی خوبی برخوردار نیستند (شکل ۹ ه). کانی‌های قابل تشخیص در سیلتستون‌ها در زیر میکروسکوپ عبارتند از کوارتز، کلسیت و کانی‌های کدر (شکل ۹ و).

دگرسانی

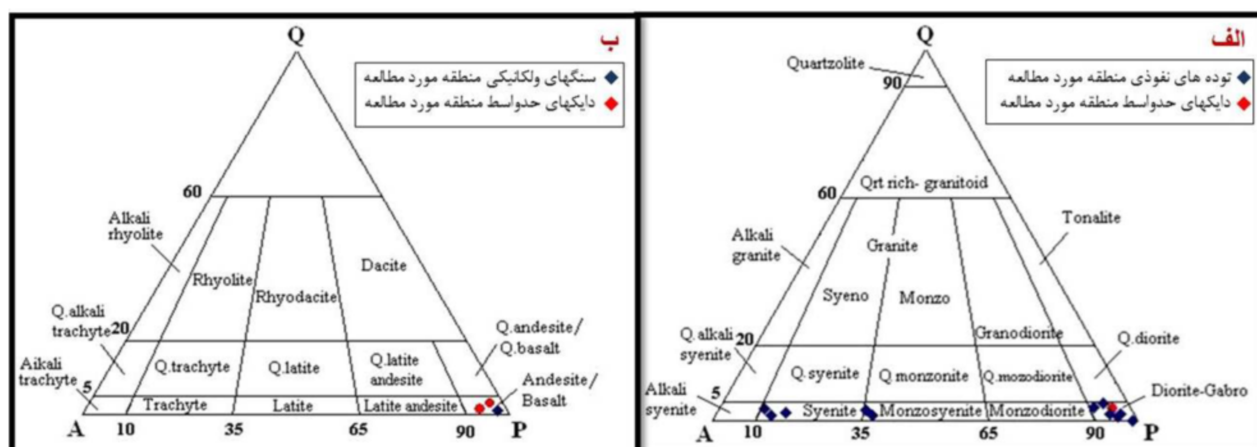
دگرسانی‌ها در منطقه‌ی پروپیلیتیک، سریسیت- پروپیلیتیک، سیلیسی و آرژیلیک به شرح زیرند (شکل ۱۰).

دگرسانی پروپیلیتیک: بیشترین گسترش را در منطقه دارد (شکل‌های ۱۱ الف و ۱۳ الف). کانی‌های شاخص آن عبارتند از کلریت، سریسیت و کلسیت. این دگرسانی از کانی‌های مافیک شروع، سپس پلاژیوکلاز و فلدسپات‌های پتاسیم‌دار را تحت تأثیر قرار داده‌اند (شکل ۱۱ ب).

دگرسانی سریسیتیک- پروپیلیتیک: در سنگ‌های دیوریت پورفیری و بازالت‌ها بیشترین گسترش را دارد (شکل ۱۲الف). کانی‌های شاخص این منطقه سریسیت (فراوان‌ترین کانی) و کلریت است. سریسیت غالباً به حالت جانشینی در فلدسپات‌ها و کمتر به صورت پراکنده در متن سنگ مشاهده می‌شود (شکل ۱۲ ب).

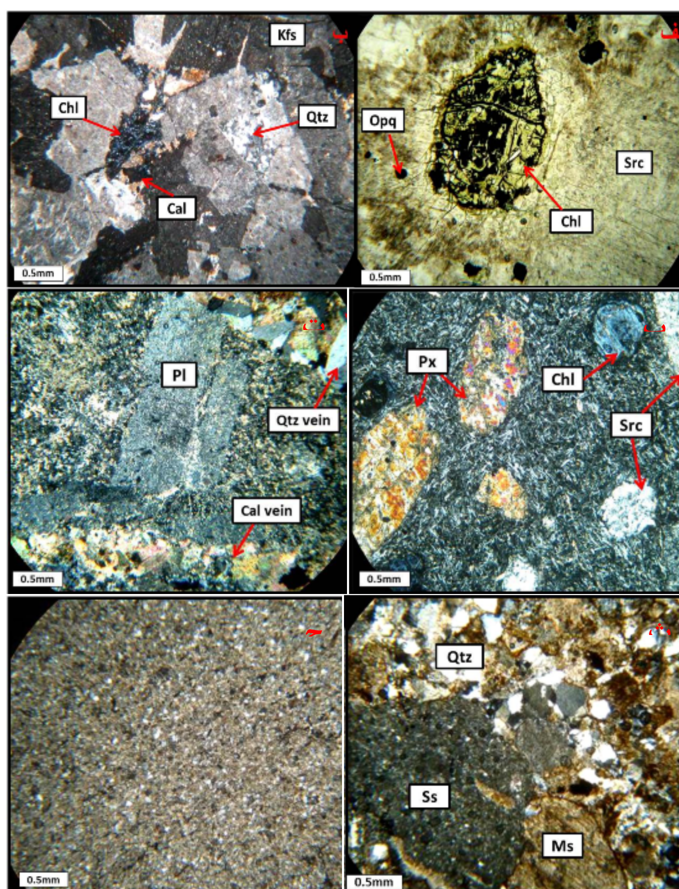


شکل ۷ الف) مرز بین واحدهای رسوبی و آذرین منطقه و ب) نمایی از واحد آهکی دگرگون شده در همبری با واحدهای نفوذی.

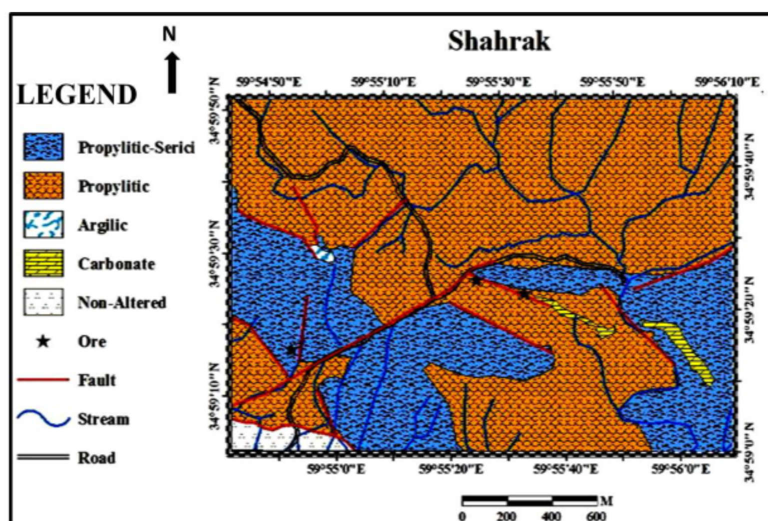


شکل ۸ رده‌بندی کانی شناسی کمی (مودی) سنگ‌ها منطقه‌ی مورد بررسی. الف) سنگ‌های آذرین درونی و ب) سنگ‌های آذرین بیرونی (نمودارهای پایه از [۷،۶]).

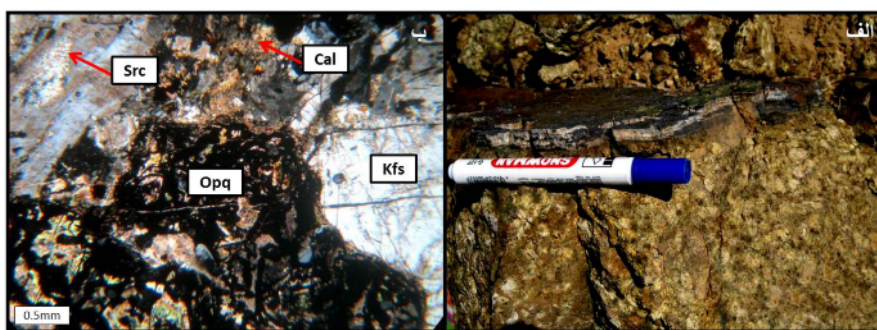
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.10.2]



شکل ۹ الف) دگرسانی کامل پلاژیوکلاز به سریسیت (Src) و عملکرد دگرسانی گرمابی و رشد کانی‌های کدر (Opq) در رخ‌ها و شکستگی‌های الیوین و دگرسانی آن به کلریت (Chl) در مونزوسینیت، ب) وجود بافت دانه ای و درشت بلورهای فلدسپار پتاسیم (Kfs) در واحدهای سینیتی منطقه و نیز پرشدگی فضای خالی به وسیله کانی‌های کوارتز (Qtz) و کلسیت (Cal)، ج) پرشدگی فضاهای خالی سنگ‌های بازالتی به ویژه با کانی کلسیت و تشکیل بافت بادامکی و تأثیر دگرسانی و رشد کانی‌های کدر اطراف کلریت‌ها در واحدهای بازالت پورفیری. د) درشت بلورهای پلاژیوکلاز (Pl) در حال تجزیه به کانی‌های سریسیت همراه با رگچه‌های کلسیتی و سیلیسی در سنگ‌های آندزیت پورفیری، ه) حضور کوارتز، سیلتستون (Ss) و گل سنگ (Ms) در کنگلومرا و و) واحدهای سیلتستون منطقه‌ی مورد بررسی که دارای بافت ریزدانه است (همه تصاویر در نور قطبیده متقاطع با بزرگنمایی 40X) تهیه شده‌اند.



شکل ۱۰ پراکندگی واحدهای دگرسانی در منطقه‌ی مورد بررسی.



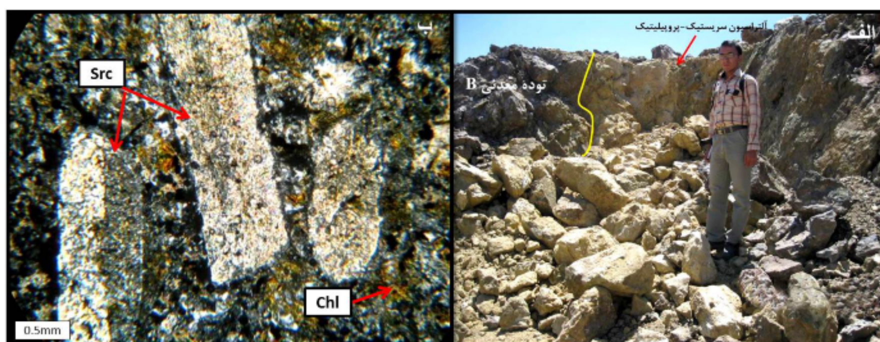
شکل ۱۱ الف) دگرسانی پروپیلیتیک در واحدهای سینیتی همراه با رگه‌های معدنی و ب) دگرسانی پروپیلیتیک در واحدهای سینیتی همراه با حضور کانی‌های کلسیت (Cal)، سریسیت (Src) و کدر (Opq) (نور قطبیده متقاطع با بزرگنمایی 40X).

دگرسانی سیلیسی: کوارتز شاخص این منطقه و اصلی‌ترین کانی در این دگرسانی است. کوارتز در سنگ‌های منطقه به صورت پرکننده فضاهای خالی و گاهی به صورت رگچه‌ای است. همچنین این دگرسانی به صورت برش‌های سیلیسی شده در شمال باختری توده‌ی معدنی A برونزد دارد (شکل ۱۳ الف). این برش حاوی کانی‌های آهن‌دار از جمله مگنتیت و گوتیت و نیز کانی‌های مس‌دار مثل مالاکیت، آزوریت و کالکوپیریت است (شکل ۱۳ ب).

دگرسانی آرژیلیک: کانی‌های رس‌دار، شاخص این دگرسانی هستند که در شرایط کاملاً اسیدی و یا کاهش دمای گرمابها و کاهش فعالیت پتاسیم نسبت به هیدروژن، تمامی کاتیون‌های قلیایی از سنگ خارج شده و این دگرسانی شکل می‌گیرد که در چنین شرایطی کانی‌های رسی تشکیل می‌شوند [۸] (شکل ۱۴ الف). دگرسانی آرژیلیک به صورت محدود در شمال باختری توده‌ی معدنی A دیده می‌شود. (شکل ۱۳ الف). داده‌های حاصل از آنالیز XRD نشان می دهند که این دگرسانی در منطقه از نوع آرژیلیک پیشرفته است.

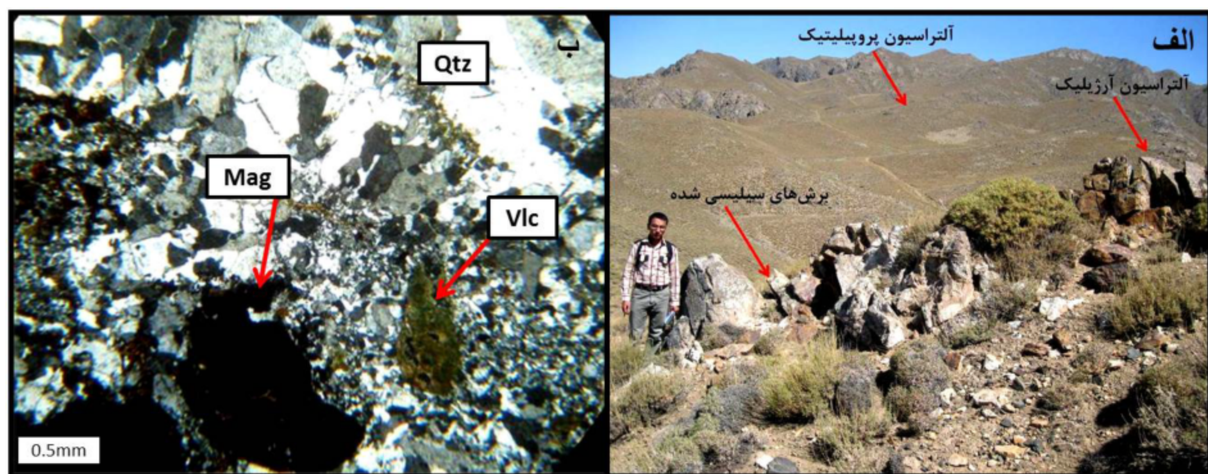
کانی‌زایی

کانی‌زایی آهن در کانسار آهن شهرک به حالت‌های مختلف رگه‌ای، رگچه‌ای، لایه‌ای، شانه‌ای و برش گرمابی در راستای گسل‌ها و شکستگی‌ها رخ داده است (شکل ۱۵ الف تا ج)، ضخامت این رگه‌ها از چندین سانتیمتر تا دو متر متغیر است، راستا غالب رگه‌ها، خاوری- باختری، در نمودار گل سرخی، (شکل ۱۴ب) نشان داده شده است. گسترش کانی‌زایی در دو منطقه A و B از گسترش بیشتری برخوردار بوده که در حال بهره‌برداری هستند، کانی‌زایی در منطقه‌ی A در داخل دیوریت‌های پورفیری و در منطقه‌ی B در داخل مونزوسینیت‌ها در مرز گسلی با واحدهای دیوریتی رخ داده است. کانی‌سازی بیشتر اسپیکولاریت و به مقدار کمتر مگنتیت است. بافت کانی‌سازی بیشتر توده‌ای و به شکل‌های مختلف پرکننده‌ی فضاهای خالی، شانه‌ای، لایه‌ای و برش گرمابی است (شکل۱۵ الف و ب). بافت استوک ورکی نیز در مقاطع قابل مشاهده است (شکل ۱۵ پ). در توده معدنی B بر عکس توده معدنی A میزان اسپیکولاریت بیشتر از مگنتیت است. کانی‌های باطله‌ی این رگه‌ها کوارتز و کلسیت هستند که در توده معدنی B بیشتر از توده معدنی A است. علاوه بر کانی‌زایی آهن، کانی‌زایی مس به صورت فازهای کربناتی چون آزوریت و مالاکیت دیده می‌شود (شکل ۱۵ ت). این کانه‌ها نیز بافت‌های پرکننده فضای خالی و کلوفرمی دارند.

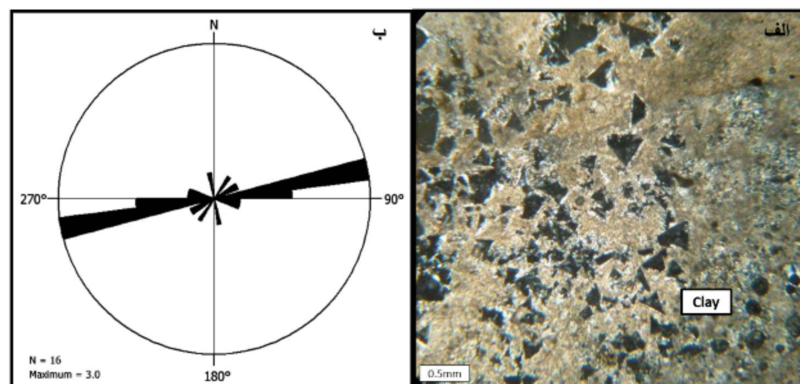


شکل ۱۲ الف) دگرسانی سریسیتیک- پروپیلیتیک در واحد دیوریتی میزبان توده معدنی B و ب) سریسیتی شدن پلاژیوکلازها و گسترش کلریت (Chl) در متن سنگ‌های دیوریتی (نور قطبیده متقاطع با بزرگنمایی 40X).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.10.2]



شکل ۱۳ الف) گسترش دگرسانی پروپیلیتیک و آرژیلیک در کنار برش‌های سیلیسی شده در واحدهای شمال باختری توده‌ی معدنی A و ب) دگرسانی سیلیسی به صورت برش‌های سیلیسی شده حاوی خرده‌های آتشفشانی (نور قطبیده متقاطع با بزرگنمایی 40X).



شکل ۱۴ الف) مقطع میکروسکوپی از دگرسانی آرژیلیک در سنگ میزبان توده معدنی A (نور قطبیده متقاطع با بزرگنمایی 40X) و ب) نمودار گل سرخی مربوط به برداشت‌های صورت گرفته از رگه‌های کانی‌زایی شده موجود در منطقه.



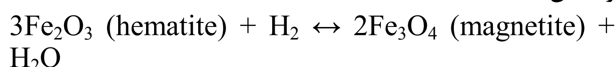
شکل ۱۵ حالت‌های مختلف کانی‌سازی. الف) برش گرمابی، ب) لایه‌ای- شانه‌ای، پ) داربستی و ت) کانی‌زایی کربنات‌های مس (آزوریت و مالاکیت) همراه با کانی‌زایی آهن در منطقه.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.10.2]

اسپیکولاریت: بیشترین کانه‌ی موجود در کانسار آهن رشتخوار، اسپیکولاریت (تیغه‌های بلند هماتیت) است که در اندازه‌های کوتاه تا بلند در مقاطع مشاهده می‌شود. اسپیکولاریت در این مقاطع دارای بافت‌های متنوع و جالبی چون بافت های دسته جارویی به صورت رشته‌های درهم تنیده، زنجیره‌ای و متراکم، تیغه‌ای و توده‌ای (گلوله برفی) است (شکل ۱۶ الف تا د).

مگنتیت: مگنتیت در این کانسار به دو صورت اوّلیه و ثانویه حضور دارد. در حالت اوّلیه مگنتیت در سنگ‌های میزبان کانی‌زایی و برش سیلیسی شده گسترش دارد و به صورت بلورهای نیمه شکل دار و بی‌شکل به همراه کانه‌های کالکوپیریت و پیریت دیده می‌شود (شکل ۱۷ الف و ب). در حالت ثانویه تقریباً در همه‌ی سنگ‌های دارای اکسیدهای آهن، جانشینی دو طرفه مگنتیت و هماتیت به چشم می‌خورد که ممکن است طی واکنش‌های اکسایشی- احیایی باشد [۹]. طی واکنش ردوکسی (۱) جانشینی کاذب هماتیت اوّلیه به وسیله مگنتیت در شرایط احیایی (کمربند سولفیدی) انجام می‌شود که طی آن مقدار اتم‌های آهن ثابت باقی می‌ماند و فقط افزایش و کاهش اکسیژن وجود دارد. به مگنتیت‌های جدید شکل گرفته ماشکیتوویت (Mushketovite) و به جانشینی آن ماشکیتوویزاسیون (Mushketovitization) می‌گویند. احیاء ناقص منجر به شکل کاذب مگنتیت به صورت تکه‌هایی در داخل بلورهای کشیده هماتیت می‌شود (شکل۱۷ پ و ت).

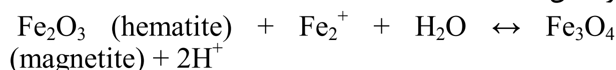
واکنش (۱)



$$3Fe_2O_3 \text{ (hematite)} + H_2 \leftrightarrow 2Fe_3O_4 \text{ (magnetite)} + H_2O$$

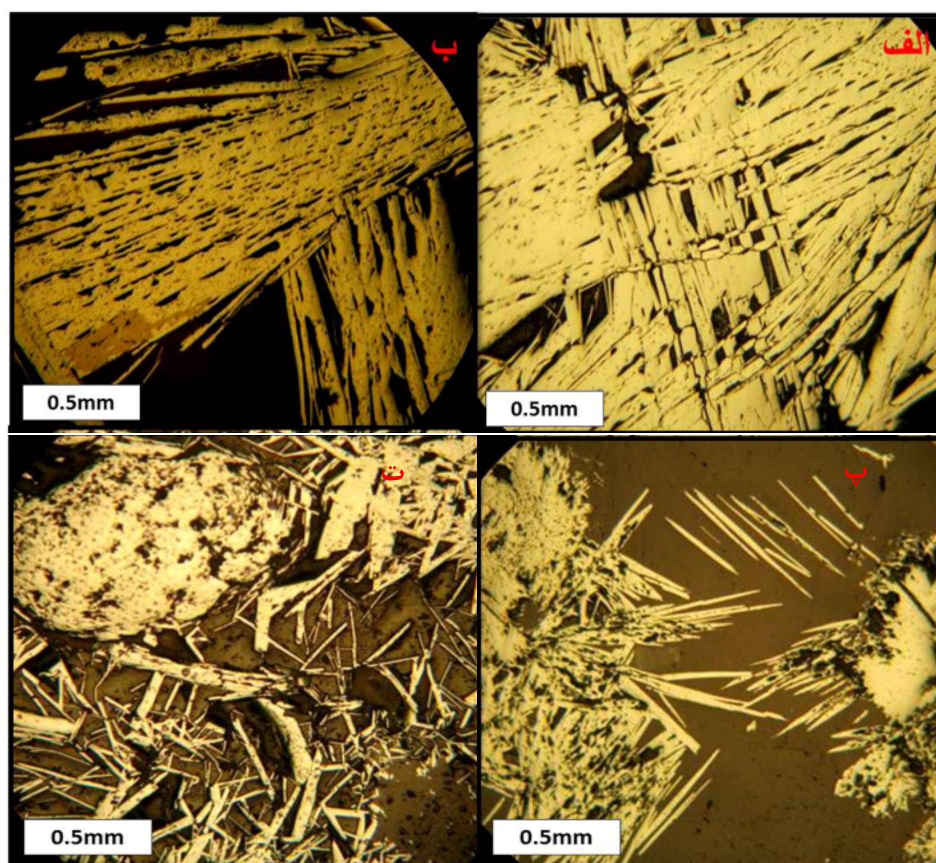
همچنین بافت‌های زنجیره‌ای و متراکم و توده‌ای و تیغه‌ای در واکنش غیر ردوکسی (۲)، تغییر هماتیت به مگنتیت با اضافه شدن یون $Fe2+$ رخ می‌دهد در این واکنش مقدار آهن ثابت نیست. این واکنش ممکن است سازوکار اصلی برای تغییر شکل هماتیت به مگنتیت در طبیعت، به خصوص در سیستم‌های گرمابی باشد [۱۰].

واکنش (۲)

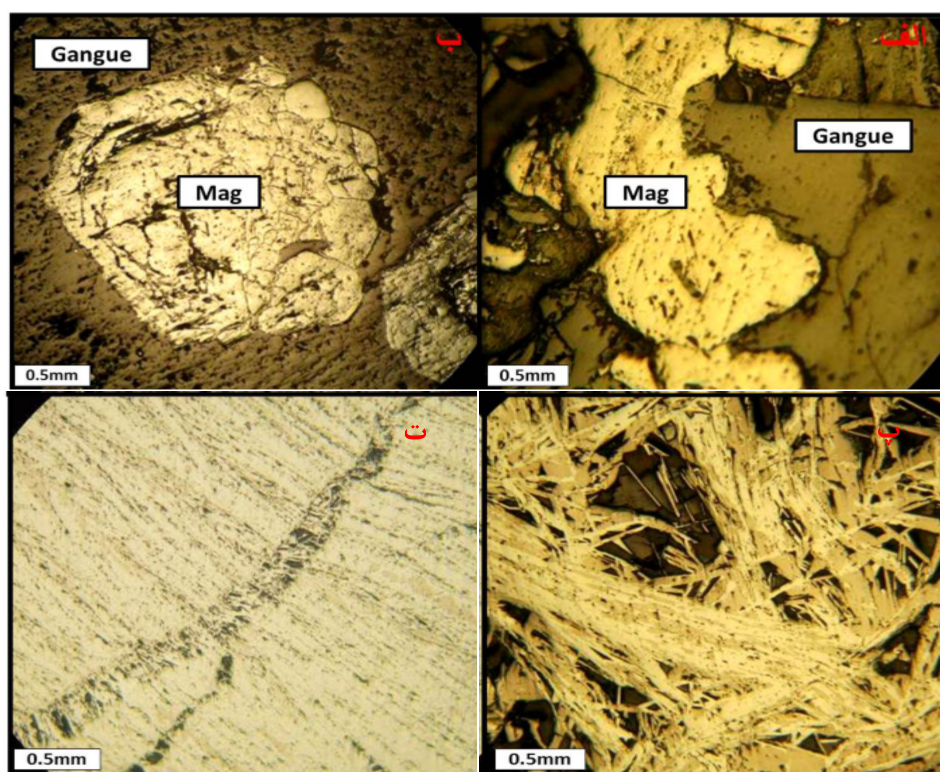


$$Fe_2O_3 \text{ (hematite)} + Fe_2^{+} + H_2O \leftrightarrow Fe_3O_4 \text{ (magnetite)} + 2H^{+}$$

تغییر شکل غیر ردوکسی بین هماتیت و مگنتیت در سیستم‌های گرمابی به طور گسترده رخ می‌دهد [۱۱].



شکل ۱۶ بافت‌های مختلف اسپیکولاریت. الف) دسته جارویی، ب) زنجیره‌ای و متراکم، پ و ت) توده‌ای و تیغه‌ای (نور بازتابی با بزرگنمایی 100X).



شکل ۱۷ الف) حضور مگنتیت (Mag) به صورت بی‌شکل در واحدهای میزبان کانی‌زایی (نور بازتابی با بزرگنمایی 100X)، ب) وجود مگنتیت شکل‌دار در برش سیلیسی شده (نور بازتابی با بزرگنمایی 50X)، پ و ت) تأثیر فرآیندهای Mushketovitization بر هماتیت و تبدیل آن به مگنتیت (نور بازتابی با بزرگنمایی 100X).

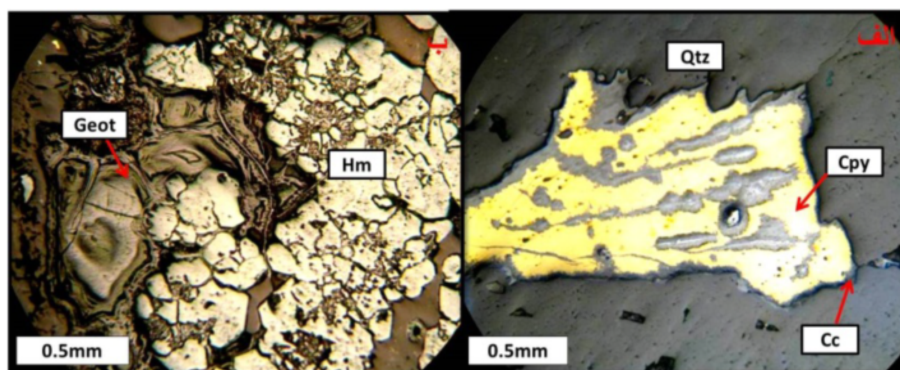
پیریت: فراوان‌ترین کانی سولفیدی در پوسته‌ی زمین است [۱۲]. به‌طور کلی فاز سولفیدی در منطقه‌ی مورد بررسی در مناطق سطحی بسیار محدود است. در مقاطع صیقلی بررسی شده پیریت به‌صورت پراکنده و اندک وجود دارد، اغلب ریزدانه، نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل‌اند. پیریت را می‌توان به ندرت به صورت پراکنده در سنگ‌های آذرین منطقه و درون رگه‌های سیلیسی دید، ولی در رگه‌های معدنی به علت اکسیده شدن قابل تشخیص نیستند. پیریت‌های موجود در رگه‌های سیلیسی به طور کامل اکسیده شده و تنها قالب اوّلیه‌ی آن‌ها به جا مانده است.

کالکوپیریت: کالکوپیریت به صورت فاز سولفیدی در رگه‌های سیلیسی و اوّلیه در سنگ‌های دربرگیرنده‌ی ماده‌ی معدنی دیده می‌شود. گسترش این کانه همراه ماده‌ی معدنی بسیار محدود است، این کانه در رگه‌های سیلیسی در فرایندهای سطحی و درونی به کالکوسیت تجزیه و دگرسان شده است و دارای بافت پراکنده و اغلب ریزدانه و بی‌شکل است (شکل ۱۸ الف).

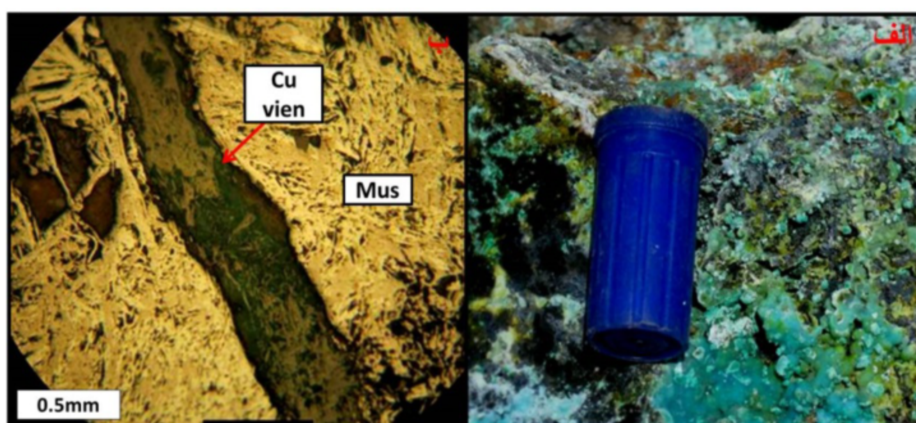
گوتیت: گوتیت حاصل دگرسانی کانه‌های هماتیت و پیریت است، این کانه اکسیدی جزء پایدارترین کانی آهن‌دار در طبیعت است و به‌طور کلی به دو روش از کانی‌های آهن‌دار به وجود می‌آید: ۱- از طریق اکسایش هماتیت؛ ۲- از طریق اکسایش سولفید آهن. گوتیت در مقاطع مورد بررسی دارای بافت منطقه‌ای هم‌مرکز است که نشانگر اکسایش انحلال کانی اوّلیه است (شکل ۱۸ ب). فراوانی این کانی در منطقه بسیار محدود است و فقط در رگه‌های سیلیسی و برش سیلیسی شده، قابل مشاهده است.

کربنات‌های مس: مهم‌ترین کربنات‌های مس قابل مشاهده در منطقه، آزوریت و بیشتر مالاکیت هستند که به صورت پرکننده‌ی فضای خالی دارای بافت‌های متنوعی از جمله کلوفرمی هستند (شکل ۱۹ الف). این کربنات‌ها همراه با ماده‌ی معدنی در رگه‌ها و شکستگی‌ها و نیز روی سنگ‌های آذرین منطقه به‌صورت لکه‌های قابل توجهی مشاهده می‌شوند. در مقاطع میکروسکوپی بیشتر به صورت رگچه‌هایی در سنگ میزبان دیده می‌شوند (شکل ۱۹ ب).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.10.2]



شکل ۱۸ الف) مقطع میکروسکوپی از کالکوپیریت (Cpy) در رگه‌های سیلیسی در حال تجزیه به کالکوسیت (Cc) و ب) تشکیل گوتیت (Geot) با بافت هم‌مرکز و منطقه‌ای از طریق اکسایش هماتیت در برش سیلیسی شده (نور بازتابی با بزرگنمایی 100X).



شکل ۱۹ الف) حضور کربنات‌های مس در سطح ماده‌ی معدنی به صورت قلوه‌ای و ب) مقطع میکروسکوپی از رگچه‌های دارای ترکیبات مس در ماده‌ی معدنی (نور بازتابی با بزرگنمایی 100X).

تشکیل دوگانه سنگ‌ها

کانی سازی در کانسار آهن رشتخوار شامل دو بخش درونزاد (اوّلیه) و برونزاد (ثانویه) است. مرحله‌ی درونزاد در دو مرحله شامل کانی‌سازی اکسیدی (اسپیکولاریت + مگنتیت به مقدار ناچیز) و سولفیدی تأخیری (کالکوپیریت + پیریت) است و مرحله برونزاد شامل تشکیل هیدروکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) و کربنات‌های مس (مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت) است. مهم‌ترین باطله‌های کانسار را کلسیت و کوارتز تشکیل می‌دهند (شکل ۲۰).

برداشت

۱- سنگ‌های در برگیرنده‌ی کانسار آهن رشتخوار عبارتند از سنگ‌های آذرین (دیوریت، سینیت، مونزوسینیت، آندزیت و بازالت) و سنگ‌های رسوبی.

۲- دگرسانی‌های پروپیلیتیک، سرستیک- پروپیلیتیک، آرژیلیک پیشرفته و سیلیسی در سنگ‌های آذرین کانسار آهن رشتخوار گسترش دارند که گسترش دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه بیشتر از بقیه است و همچنین دگرسانی آرژیلیک پیشرفته در سنگ‌های دیوریتی میزبان کانه‌زایی گسترش دارد. در حالی که دگرسانی سیلیسی علاوه بر گسترش به صورت رگه‌های سیلیسی برشی، همراه با کانه‌زایی دیده می‌شود.

۳- کانی‌سازی بیشتر اسپیکولاریت و به مقدار کمتر مگنتیت است. بافت کانی‌سازی بیشتر توده‌ای و به شکل‌های مختلف پرکننده‌ی فضاهای خالی شانه‌ای و لایه‌ای است .

۴- کانی‌زایی در منطقه شامل دو بخش درونزاد (اوّلیه) و برونزاد (ثانویه) بوده و کلسیت و کوارتز مهم‌ترین باطله‌های آن هستند. کانی سازی درونزاد شامل کانی سازی اکسیدی (اسپیکولاریت + مگنتیت به مقدار ناچیز) و سولفیدی تأخیری (کالکوپیریت + پیریت) و کانی سازی برونزاد هیدروکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) و کربنات‌های مس (مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت) است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.10.2]

Minerals	Mineralization		
	Main oxide stage	Sulfide stage	Supergene stage
Specularite			
Magnetite			
Chalcopyrite			
Pyrite			
Quartz			
Calcite			
Azurite			
Malachite			
Geothite			
Limonite			

شکل ۲۰ دنباله‌ی تشکیل دوگانه‌ی کانسار آهن رشتخوار.

مراجع

[۱] کریم‌پور م. ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، *"ژئوشیمی وکانی‌شناسی زون‌های اسکارنی و سنگ‌شناسی سنگ منشأ کانسار آهن سنگان خراسان رضوی"*، علوم زمین سال ۱۷، شماره ۶۵ (۱۳۸۶) ص ۱۰۸-۱۲۴.

[۲] یوسفی سورانی ل.، *"پتانسیل یابی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ دولت آباد با استفاده از داده‌های ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای، ژئوفیزیکی و پردازش و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای"*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۵).

[3] Hitzman M. M., Orekes N., and Einaudi M. T., *Geological characteristics and tectonic setting of proterozoic iron oxide (Cu-U-LREE) deposits*. Precambrian research 58, (1992) 241-287.

[4] Ancelin J., Danesfaleh M., Sajedi T., *"Geological map of Iran 1:100000 series sheet 7959-Roshtekhar"*, Geological and mineral survey of Iran (1983).

[5] Danesfaleh M., and Sajedi T., *"Geological map of Iran 1:250000 series Gonabad"*, Ministry of mines and metals geological survey of Iran, (1983).

[6] Streckeisen A., *"Classification and nomenclature of plutonic rocks"*, Geology Rdsch. 63 (1974) 773-786.

[7] Streckeisen A., *"Classification and nomenclature of volcanic rocks, Lamprophyres carbontites and melilitic rocks"*, Recommendations and suggestions of the IUGS Subcommission on the systematics of igneous rocks: Geology 7 (1979) 331-335.

[8] Guilburt J. M., and Park C. F., *The Geology of ore deposits"*, W.H. Freeman in NewYork (1986) 985P.

[9] Mucke A. and Cabral A. R., *"Redox and non-redox reactions of magnetite and hematite in rocks"*, Chemie der Erde Geochemistry 65 (2005) 271-278.

[10] Ohmoto H., *"Non-redox transformations of magnetite-hematite in hydrothermal system"*, Economic Geology 98 (2003) 157-161.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.10.2]

[11] Otake T., Wesolowski D. J., Anovitz L. M., Allard L. F.,and Ohmoto H., ˝*Mechanisms of Iron oxide transformations in hydrothermal systems*˝, Geochmica et Cosmochimica Acta 74 (2010) 6141-6156.

[12] Craig J.R. and Vokes F.M., *The metamorphism of pyrite and pyritic ores*˝, an overview, Mineralogical Magazine, V.57 (1993) 3-183.